

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of:

Hideaki TAMAI et al.  
New Application Number

Confirmation No.

Filed: January 30, 2004

For: WAVELENGTH CONVERSION  
DEVICE

Art Unit: TBA

Examiner: TBA

Atty. Docket No. 32011-200514

Customer No.

**\*26694\***

**26694**

PATENT TRADEMARK OFFICE

**Submission of Certified Copy of Priority Document**

Commissioner for Patents  
P. O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

Submitted herewith is a certified copy of Application No. 049999/2003 filed on February 26, 2003 in Japan, the priority of which is claimed in the present application under the provisions of 35 U.S.C. 119.

Respectfully submitted,

Date:

1/30/2004

  
James R. Burdett

Registration No. 31,894

VENABLE LLP

P.O. Box 34385

Washington, D.C. 20043-9998

Telephone: (202) 344-4000

Telefax: (202) 344-8300

**JAPAN PATENT OFFICE**

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this office.

Date of Application: February 26, 2003

Application Number: 2003-049999 [JP2003-049999]

Applicant(s): Oki Electric Industry Co., Ltd.

Dated November 10, 2003

Commissioner,  
Japan Patent Office      Yasuo Imai

Certificate No. 2003-3092705

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日  
Date of Application: 2003年 2月26日

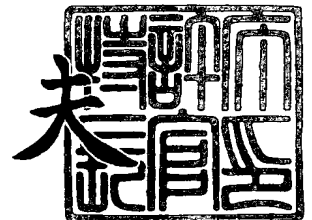
出願番号  
Application Number: 特願2003-049999  
[ST. 10/C]: [JP2003-049999]

出願人  
Applicant(s): 沖電気工業株式会社

2003年11月10日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



出証番号 出証特2003-3092705

【書類名】 特許願

【整理番号】 OH003808

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02F 1/35

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都港区虎ノ門 1 丁目 7 番 1 2 号 沖電気工業株式会  
社内

    【氏名】 玉井 秀明

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都港区虎ノ門 1 丁目 7 番 1 2 号 沖電気工業株式会  
社内

    【氏名】 大柴 小枝子

【特許出願人】

    【識別番号】 000000295

    【氏名又は名称】 沖電気工業株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100085419

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 大垣 孝

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 012715

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

    【物件名】 明細書 1

    【物件名】 図面 1

    【物件名】 要約書 1

    【包括委任状番号】 9001068

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書  
【発明の名称】 波長変換装置  
【特許請求の範囲】

【請求項 1】 中心波長  $\lambda_s$  の励起光パルスを中心波長  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$  ( $n$  は自然数) の光パルスに変換する波長変換装置であって、

中心波長  $\lambda_s$  の該励起光パルスが入射されて、波長  $\lambda_L$  から波長  $\lambda_H$  (ただし、 $\lambda_L < \lambda_H$ ) の範囲に分布するスペクトル形状を有する SC (Supercontinuum) 光を発生させる SC 光発生部と、

該 SC 光をフィルタリングする、透過中心波長が  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$  ( $n$  は自然数) である光波長フィルタとを具え、

波長  $\lambda_L$ 、波長  $\lambda_H$ 、波長  $\lambda_s$  及び波長  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$  ( $n$  は自然数) の間に以下の条件 (1) 及び (2-1)、(2-2)、 $\dots$ 、(2- $n$ ) が満足されていることを特徴とする波長変換装置。

$$\lambda_L < \lambda_s < \lambda_H \quad (1)$$

$$\lambda_L < \lambda_1 < \lambda_H \quad (2-1)$$

.

.

.

$$\lambda_L < \lambda_n < \lambda_H \quad (2-n)$$

【請求項 2】 請求項 1 に記載の波長変換装置において、

前記 SC 光発生部が、波長  $\lambda_s$  における波長分散の絶対値が伝播方向に減少する特性を有する、光ファイバであることを特徴とする波長変換装置。

【請求項 3】 請求項 1 または請求項 2 に記載の波長変換装置において、

前記光波長フィルタが、その光の透過スペクトルの形状が、中心波長が  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$  ( $n$  は自然数) である光パルスの時間波形をフーリエ変換して得られるスペクトル形状と等しい透過特性を有する、光波長フィルタであることを特徴とする波長変換装置。

【請求項 4】 請求項 3 に記載の波長変換装置において、

上記光波長フィルタが、その光の透過率が波長を独立変数とするガウス関数で

表される透過特性を有する、光波長フィルタであることを特徴とする波長変換装置。

【請求項 5】 請求項 3 または請求項 4 に記載の波長変換装置において、  
上記光波長フィルタが、その透過帯域幅  $\Delta f$  (Hz) が以下の条件 (3) を満足する、光波長フィルタであることを特徴とする波長変換装置。

$$\Delta f = f_h > 0.44f_0 \quad (3)$$

ここで、 $f_h$  (Hz) は、変換された波長  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$  ( $n$  は自然数) の光パルスの時間軸上での半値全幅であり、 $f_0$  (Hz) は、光パルスの時間軸上での出現頻度を与える周波数(ビットレート)に相当する。

【請求項 6】 請求項 1 に記載の波長変換装置において、  
前記励起光パルスの前記 SC 光発生部の入射光路に、該励起光パルスのピークパワーを、SC 光を発生させるために要する光強度の水準にまで、該励起光パルスを増幅する光増幅器を具えることを特徴とする波長変換装置。

【請求項 7】 請求項 1 に記載の波長変換装置において、  
前記光波長フィルタが、透過光の中心波長が可変である透過波長可変フィルタであることを特徴とする波長変換装置。

【請求項 8】 請求項 1 に記載の波長変換装置において、  
前記光波長フィルタが、光ファイバグレーティングを利用して構成され、かつ光サーキュレータと光波長フィルタとを直列して配列されて構成されることを特徴とする波長変換装置。

【請求項 9】 請求項 1 に記載の波長変換装置において、  
前記光波長フィルタが、光ファイバグレーティングを利用して構成され、かつ光サーキュレータと光波長フィルタとを交互に直列して配列されて構成されることを特徴とする波長変換装置。

【請求項 10】 請求項 1 に記載の波長変換装置において、  
前記光波長フィルタがアレー導波路格子であることを特徴とする波長変換装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

**【発明の属する技術分野】**

この発明は、非線形光学媒質に励起光パルスを入射させて、この非線形光学媒質中で発生するSC (Supercontinuum) 光を、光バンドパスフィルタによってフィルタリングすることによって、入射光とは異なる波長の光パルスに変換する波長変換装置に関する。

**【0002】****【従来の技術】**

伝送速度が1 Tbit/s 以上である大容量光通信ネットワークを構築するために様々な手段が検討されているが、その中で最も注目されている技術が波長多重 (WDM: Wavelength Division Multiplexing) である。WDM光通信ネットワークを実現するためには、波長変換装置が必要とされる。例えば、光クロスコネクタノード (OXC: Optical Cross Connect Node) に波長変換装置を採用すると、チャンネル間の衝突の回避や、波長の再利用が可能となる他、ネットワークの管理やネットワークそのものの改良(アップグレード)がしやすくなり、その結果新たな通信帯域を利用できるようになるなどの利点がある。

**【0003】**

このような要請から、以下に説明する波長変換装置が開発されてきた。これらの波長変換装置において波長変換を実現するために利用される自然法則は、例えば、半導体光増幅器等の非線形光学媒質中で発現する四光波混合(FWM: Four-Wave Mixing) である(例えば、特許文献1参照)。また、多波長光源を用いて、この多波長光源から発生する光を選択して各チャンネルに割り当てることで、WDM光通信ネットワークを実現する試みもなされている(例えば、特許文献2参照)。

**【0004】****【特許文献1】**

特開2000-66253号公報

**【特許文献2】**

特開2001-251253号公報

**【0005】****【発明が解決しようとする課題】**

しかしながら、特許文献1に開示されている、半導体光増幅器の利得領域を非線形光学媒質として、この半導体光増幅器の利得領域中で発現するFWMを利用する、波長変換装置は次のような問題点がある。すなわち、半導体光増幅器と、光通信システムの通信線路である光ファイバとを光学的に接続するために、レンズを用いる必要があり、このレンズと半導体光増幅器と光ファイバとの位置関係を確定するための精密な位置調整工程が必要である。半導体光増幅器からの出力光を光ファイバに低損失で入射させるための位置調整工程は手数がかかり、半導体光増幅器の光導波路を伝播する光の伝播モードとレンズの集光特性及び光ファイバの開口数等の様々の要素から、接続損失を小さく抑えることには限度がある。

#### 【0006】

また、波長変換されて得られる光の波長は、信号光の波長とポンプ光の波長とから一義的に確定してしまい、任意の波長の光に変換することができないという制約がある。この点も、WDM光通信システムを構築する上では、大きな技術的な制約である。

#### 【0007】

特許文献2に開示されている、多波長光源を用いる波長変換装置においては、波長変換装置内に新たに多波長光源装置を組み込む必要があり、このための消費電力は大きなものである。この消費電力を低減することが技術的な問題である。また、クロック信号再生器、信号再生器、制御回路等、多数の装置及び部品を必要とするために、波長変換装置そのものが複雑となってしまい、生産性が悪いという問題もある。

#### 【0008】

また、クロック信号再生器、信号再生器、制御回路等の装置は、一般に限定された周波数でしか動作しない。そのため、構築する光通信システムのビットレートが制限されてしまい、例えばより高速なビットレートを実現することが困難となる。

#### 【0009】

そこで、この発明の目的は、変換されて得られる光の波長の選択範囲が広い波長変換装置を提供することにある。

## 【0010】

## 【課題を解決するための手段】

上述の目的の達成を図るため、この発明に係る波長変換装置は、励起光パルスを入射させてSC光を発生させるSC光発生部と、SC光をフィルタリングする光波長フィルタとを具える。

## 【0011】

SC光は、励起光パルスの半値全幅よりも広い波長帯域にわたって分布するパルス光である。SC光が発生するメカニズムは、概略以下に説明するとおりである。

## 【0012】

例えば分散減少光ファイバ等の非線形光学媒質に、狭いスペクトル帯域を持つ光、すなわち単色光、を入射させると、この非線形光学媒質中で、自己位相変調現象によって入射光のスペクトル幅が広がる。このようにして、スペクトル幅が広がった入射光は、この広がったスペクトル幅の波長帯域が四光波混合の利得帯域に重なる波長範囲にわたって、入射光がコヒーレントにそのスペクトル帯域幅が広がる。このようにして、狭いスペクトル帯域を持つ入射光が、広いスペクトル帯域を持つ光に変換される。この変換された広いスペクトル帯域を持つ光がSC (Supercontinuum) 光である。

## 【0013】

励起光パルス光源は、中心波長  $\lambda_s$  の励起光パルスを生成する。SC媒質は、励起光パルス光源から生成される励起光パルスが入射すると、波長  $\lambda_L$  から波長  $\lambda_H$  (ただし、 $\lambda_L < \lambda_H$ ) の範囲に分布するスペクトル形状を有するSC光を発生させるSC光発生部として機能する。光波長フィルタは、その透過中心波長が  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$  ( $n$ は自然数) である特性を有している。

## 【0014】

そして、波長  $\lambda_L$ 、波長  $\lambda_H$ 、波長  $\lambda_s$  及び波長  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$  ( $n$ は自然数) の間に以下の条件 (1) 及び (2-1)、(2-2)、…、(2- $n$ ) が満足されている。

## 【0015】

$$\lambda_L < \lambda_s < \lambda_H \quad (1)$$

$$\lambda_L < \lambda_1 < \lambda_H \quad (2-1)$$

・  
・  
・

$$\lambda_L < \lambda_n < \lambda_H \quad (2-n)$$

上述したこの発明に係る波長変換装置によれば、中心波長 $\lambda_s$ の励起光パルスは、条件式(1)に示された波長 $\lambda_L$ から波長 $\lambda_H$ （ただし、 $\lambda_L < \lambda_H$ ）の範囲の波長のスペクトル帯域を有する光パルスに波長変換される。すなわち、透過中心波長が $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ が条件式(2-1)、(2-2)、…及び(2-n)を満たす範囲にある光波長フィルタを用いれば、波長 $\lambda_L$ から波長 $\lambda_H$ の波長の範囲にわたって存在するSC光から、任意の波長の光パルスを光波長 $\lambda_L$ から波長 $\lambda_H$ の波長の広い範囲内で選択して得ることができる。

#### 【0016】

特別に、 $n=1$ の場合を説明すると、中心波長 $\lambda_s$ の励起光パルスをこの発明の波長変換装置に入射すれば、中心波長が $\lambda_1$ の光パルスに波長変換される。同様に、 $n=2$ の場合を説明すると、中心波長 $\lambda_s$ の励起光パルスをこの発明の波長変換装置に入射すれば、中心波長が $\lambda_1$ の光パルスと、中心波長が $\lambda_2$ の光パルスと、が得られることを意味する。 $n$ が3以上の場合も同様である。

#### 【0017】

また、SC光発生部であるSC媒質として、波長 $\lambda_s$ における波長分散の絶対値が伝播方向に減少する特性を有する光ファイバを利用するのが好適である。この種の光ファイバによれば、SC光を効率よく発生させることができる。

#### 【0018】

また、上述した光波長フィルタの透過スペクトルの形状が、中心波長が $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ （ $n$ は自然数）である光パルスの時間波形をフーリエ変換して得られるスペクトル形状と等しい透過特性を有することが好ましい。また、具体的に上述した光波長フィルタが、その光の透過率が波長を独立変数とするガウス関数で表される透過特性を有する、光波長フィルタとすることが好適である。以後、このようなガウス関数で表される透過特性を有する光波長フィルタを、ガウス

型光波長フィルタということもある。

【0019】

上述のような透過特性を有する光波長フィルタを用いれば、この光波長フィルタでフィルタリングされた光パルスの出力時間波形には、出力サイドローブが発生せず、時間的に隣接して存在する光パルスと干渉を起こすという問題が発生しにくい。光波長フィルタでフィルタリングされた光パルスの出力波形とは、横軸を時間軸にとり、縦軸に光強度をとって表示された、光パルスの波形である。以後このようにして表示された場合に光パルスの波形を、光パルスの時間波形ということもある。

【0020】

ガウス型光波長フィルタにおいては、その透過特性が、光パルスの時間波形をフーリエ変換して得られるスペクトル形状と等しい形状を有するという性質を有している。したがって、ガウス型光波長フィルタによってフィルタリングされた光パルスの時間波形は、出力サイドローブが発生しない。

【0021】

また、上述した光波長フィルタが、その透過帯域幅  $\Delta f(\text{Hz})$  が以下の条件(3) を満足する、光波長フィルタとすることが好適である。

【0022】

$$\Delta f = f_h > 0.44f_0 \quad (3)$$

ここで、 $f_h(\text{Hz})$  は、変換された波長  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$  ( $n$  は自然数) の光パルスの周波数軸上での半値全幅であり、 $f_0(\text{Hz})$  は、時間軸上で隣接する光パルスと干渉が生じないために設定されたビットスロットの最小値  $(1/f_0)$  (秒) から決まる周波数である。

【0023】

上述した条件(3) を満足する光波長フィルタによれば、光波長フィルタからの出射光パルスが時間軸上で列をなして存在している場合、隣接する光パルスと干渉を起こすことがない。

【0024】

【発明の実施の形態】

以下、図1から図10を参照して、この発明の実施の形態につき説明する。なお、各図は、この発明に係る一構成例を図示するものであり、この発明が理解できる程度に各構成要素の断面形状や配置関係等を概略的に示しているに過ぎず、この発明を図示例に限定するものではない。また、以下の説明において、特定の材料および条件等を用いることがあるが、これら材料および条件は好適例の一つに過ぎず、したがって、何らこれらに限定されない。また、各図において同様の構成要素については、同一の番号を付して示し、その重複する説明を省略することもある。

#### 【0025】

以下に示す図において、光ファイバ等の光信号の経路を太線で示し、電気信号の経路を細線で示してある。またこれら太線および細線に付された番号および記号は、それぞれ光信号あるいは電気信号を意味する。

#### 【0026】

##### <波長変換装置の基本構成>

図1を参照して、この発明の波長変換装置の基本構成を説明する。波長変換装置10は、SC光発生部12と光波長フィルタ14を具えて構成される。図1の左側に説明的に描いた光パルス列20は、波長が $\lambda_s$ である励起光パルス列であり、この発明の波長変換装置10に入射される被変換光パルスである。

#### 【0027】

時間軸上で光パルスが存在する位置は等間隔に割り当てられており、例えば、光パルスが存在していない位置は0を、光パルスが存在する位置は1を、それぞれ表す光パルス列と解釈される。すなわち、図1に示す例は、1101という2値デジタル信号を表す光パルス列である。光パルスの隣接するピークの時間間隔をビットスロットという。

#### 【0028】

入射光パルス列20は、入力端子16から入射してSC光発生部12に入射し、波長が波長 $\lambda_L$ から波長 $\lambda_H$ （ただし、 $\lambda_L < \lambda_H$ ）の範囲に分布するSC光13に変換される。SC光13は、光波長フィルタ14によってフィルタリングされて、波長が $\lambda_1$ である光パルス列15となる。光パルス列15は、出力端子18を介して出射光パルス列22

となって、波長変換装置10から外部に出力される。入射光パルス列20及び出射光パルス列22を図1の左側及び右側にそれぞれ説明的に描いて示す。入射光パルス列20も出射光パルス列22も時間軸上では同一の形状であるが、波長は $\lambda_s$ から $\lambda_1$ に変換されている。

#### 【0029】

図2(A)～(D)を参照して、上述した波長変換の原理を詳しく説明する。図2(A)、図2(B)及び図2(D)の縦軸は光強度を、横軸は波長を、それぞれ任意スケールで目盛ってある。また、図2(C)の縦軸は透過率を、横軸は波長をそれぞれ任意スケールで目盛ってある。

#### 【0030】

図2(A)は、波長変換装置10に入射する光パルス列20のスペクトルを示す。光パルスの中心波長は $\lambda_s$ であることを示している。図2(B)は、SC光発生部12から出射する波長が波長 $\lambda_L$ から波長 $\lambda_H$ （ただし、 $\lambda_L < \lambda_H$ ）の範囲に分布するスペクトル形状を有するSC光13のスペクトルを示している。図2(C)は、光波長フィルタ14の透過率特性を示している。また、図2(D)は、波長変換装置10から出射する光パルス列22のスペクトルを示している。

#### 【0031】

図2(A)で示される波長 $\lambda_s$ を中心波長とするスペクトルを有する入射光パルス列20が入力端子16から波長変換装置10に入射する。この入射光パルス列20は、光パルスの繰返し周波数 $f_0$ (Hz)をもつ光パルス列である。光通信においては、この光パルス列20は、RZ (Return to Zero) 信号として変調されている。

#### 【0032】

入射光パルス列20は、SC光発生部12において、図2(B)で示す波長が波長 $\lambda_L$ から波長 $\lambda_H$ （ただし、 $\lambda_L < \lambda_H$ ）の範囲に分布するスペクトル形状を有するSC光13に変換される。一方、光波長フィルタ14は図2(C)で示すような中心波長が $\lambda_1$ である透過率特性を有している。ここでは、光波長フィルタ14の中心波長が $\lambda_1$ である場合を説明するが、光波長フィルタ14の中心波長は $\lambda_1$ である以外 $\lambda_2$ 等であっても同様である。すなわち、変換される光パルスの中心波長 $\lambda_1$ と光波長フィルタ14の透過率が最大となる波長（中心波長が $\lambda_1$ ）とを一致させてある。

## 【0033】

SC光発生部12から出力されたSC光13を、光波長フィルタ14を通すことにより所望の波長成分のみを抽出し、図2(d)に示すような入射光パルス列20（波長は $\lambda_s$ である。）とは異なる波長の出射光パルス列22（波長は $\lambda_1$ である。）を得ることができる。しかも、入射光パルス列20が、RZ信号として変調されている場合、波長変換されて得られた光パルス列22も同じ形状のRZ信号として変調されている。また入射光パルス列20のビットレートに関係なく、波長変換することができる。また、後述する第2の実施形態において用いる光波長フィルタとして透過波長が可変である光波長フィルタを用いれば、波長変換して得られる出射光パルス列22の波長を時間的に連続させて変化させることも可能である。

## 【0034】

## &lt;第1の実施の形態&gt;

図3を参照して、この発明の第1の実施の形態である波長変換装置30の構成及びその各部の機能を説明する。この発明の波長変換装置30は、SC光発生部すなわちSC媒質として分散減少ファイバ32を用いている点に特徴がある。波長変換装置30のSC光発生部以外の構成は、図1に示す、波長変換装置10と同じである。すなわち、入射光パルス列40が入力端子36から波長変換装置30に入射し、SC光発生部に当る分散減少ファイバ32において、SC光33に変換される。SC光33は、光波長フィルタ34でフィルタリングされ、波長が変換された光パルス列35となり、出力端子38を介して外部に波長が変換された光パルス列42として出力される構成となっている。

## 【0035】

入射光パルス列40及び出射パルス列42を図3の左側及び右側にそれぞれ説明的に描いて示す。入射光パルス列40も出射光パルス列42も時間軸上では同一の形状であるが、波長は $\lambda_s$ から $\lambda_1$ に変換されている。もちろん、 $\lambda_L < \lambda_1 < \lambda_H$ である。

## 【0036】

分散減少ファイバとは、ある特定の波長の光に対する波長分散値が、光ファイバの導波方向に進むにしたがって、減少する特性を有する光ファイバのことである。

る。分散減少ファイバ中に光パルス（厳密には光ソリトンパルス）を伝播させると、ソリトンパルス圧縮効果と呼ばれているソリトン断熱圧縮が起こり、伝播する光パルスの半値全幅が減少していくという現象が知られている。このため、入射光パルス40のピークパワーが増大し、この結果、高い効率でSC光33が発生する。

#### 【0037】

図4(A)～(C)を参照して、波長 $\lambda_s=1.55\mu\text{m}$ の入射光パルスが、SC光に変換され、光波長フィルタでフィルタリングして得られる、波長変換された光パルスの関係を説明する。ここに示されている結果は、以下に述べる条件を仮定して数値シミュレーションして得られた結果である。なお、それぞれの図において、横軸は、波長を $\mu\text{m}$ 単位で目盛り、縦軸は、光強度をdBm単位で目盛り表示してある。

#### 【0038】

入射光パルスは、その中心波長が $1.55\mu\text{m}$ で、ピークパワーが、5 Wで、半値全幅が4psであり、繰返し周波数 $f_0$ が10 GHzのガウス関数形状をした光パルスであると仮定した。また、光波長フィルタは、その透過帯域幅（透過率曲線の半値全幅）が1 nmで、透過帯域の中心波長 $\lambda_1$ が $1.57\mu\text{m}$ であるガウス型光波長フィルタであるとして、数値解析を行なった。また、SC光を発生させるために用いた分散減少ファイバの長さ、波長分散値、波長分散スロープ等を表1に一括して示した。この表1に示した、入力端分散値は、分散減少ファイバの入力端における波長分散値であり、出力端分散値は、分散減少ファイバの入力端における波長分散値である。この波長分散値は、入力端から出力端に向かって直線的に減少する。

#### 【0039】

【表1】

パラメータ	値	単位
ファイバ長	500	m
入力端分散値	+9	ps/km/nm
出力端分散値	-1	ps/km/nm
分散スロープ	0.11	ps/km/nm <sup>2</sup>
非線形屈折率	$2.6 \times 10^{-20}$	m <sup>2</sup> /W
有効断面積	50	$\mu\text{m}^2$
損失	0.2	dB/km

## 【0040】

数値シミュレーションのための数値計算は、非線形シュレディンガー方程式を、スプリットステップフーリエ法によって、解くことによって行なった。非線形シュレディンガー方程式を、スプリットステップフーリエ法によって、解く方法は既に良く知られた方法であり、その詳細は、例えば、G.P. アグラワール著「非線形光ファイバー光学」に詳しく述べられている。また、数値計算そのものは、上述した計算方法に則って作られているシミュレータ（Optiwave 社製、商品名：OptiSystem 2.1）を用いて行なった。

## 【0041】

図4(A)は、入射光パルス40のスペクトル形状を示している。半値全幅はほぼ6 nmであり、中心波長が $1.55 \mu\text{m}$ であることが分かる。この入射光パルス40が分散減少ファイバ32を通過すると、図4(B)に示すSC光となる。SC光が分布するSC光の光強度が -20dBm 以上の帯域は、ほぼ $1.49 \mu\text{m}$ から $1.61 \mu\text{m}$ にわたる120 nmの広さとなっている。上述した入射光パルス40のスペクトルの半値全幅はほぼ6 nmであったから、SC光が分布する帯域幅は、ほぼ20倍に広がっている。

## 【0042】

図4(B)に示すSC光から、光波長フィルタによって波長 $1.57 \mu\text{m}$ の光パルスを抽出することが可能であることは、上述したSC光の光強度が-2dBm以上の帯域が、

短波長側 ( $\lambda_L$ )  $1.49\mu\text{m}$  から長波長側 ( $\lambda_H$ )  $1.61\mu\text{m}$  にわたっており、この領域に波長  $1.57\mu\text{m}$  が含まれることから、明らかである。以上述べたことから、SC 光を、その透過帯域の中心波長  $\lambda_1$  が  $1.57\mu\text{m}$  である、ガウス型光波長フィルタによってフィルタリングすることで、中心波長  $\lambda_s$  が  $1.57\mu\text{m}$  に変換された出力光パルスが得られることが分かる。

#### 【0043】

以下において、上述した波長変換が行なわれるための条件を、より詳しく説明する。

#### 【0044】

中心波長  $\lambda_s$  の励起光パルスは、以下に示す条件式(1)に示された波長  $\lambda_L$  から波長  $\lambda_H$  (ただし、 $\lambda_L < \lambda_H$ ) の範囲の波長のスペクトル帯域を有する光パルスに波長変換される。

#### 【0045】

$$\lambda_L < \lambda_s < \lambda_H \quad (1)$$

また、上述した説明から明らかなように、SC 光をフィルタリングする光波長フィルタのその透過帯域の中心波長  $\lambda_1$  は波長変換して得られる光パルスの中心波長  $\lambda_s$  に等しいはずであるから、当然に、

$$\lambda_L < \lambda_1 < \lambda_H \quad (2)$$

でなければならない。

#### 【0046】

すなわち、フィルタリングする透過中心波長  $\lambda_1$  が条件式(2)を満たす範囲にある光波長フィルタを用いれば、波長  $\lambda_L$  から波長  $\lambda_H$  の波長の範囲にわたって存在する SC 光から、任意の波長の光パルスを波長  $\lambda_L$  から波長  $\lambda_H$  の波長の広い範囲内で波長を選択して、得ることができる。

#### 【0047】

次に、SC 光をフィルタリングする光波長フィルタのその透過帯域の形状についての条件を説明する。光波長フィルタ 34 の透過特性を光の周波数  $f$  の関数として  $g(f)$  で表されるとすれば、この光波長フィルタ 34 によって、SC 光をフィルタリングすると、光波長フィルタ 34 からの出力光のスペクトル形状も、光波長フィルタ

34の透過特性 $g(f)$ と同一であるはずである。

【0048】

一方、光波長フィルタ34からの出力光の、時間  $t$  の関数としての時間波形 $G(t)$ と光波長フィルタ34からの出力光のスペクトル形状 $g(f)$ とは、互いにフーリエ変換の関係にある。したがって、光波長フィルタ34の透過特性 $g(f)$ の形状は、光波長フィルタ34からの出力光の時間  $t$  の関数としての時間波形 $G(t)$ をフーリエ変換して得られる関係にあることが、好適である。

【0049】

ガウス関数はフーリエ変換してもやはりガウス関数となる。一方、光通信等で使われる光パルスは、その形状は、時間軸に対しても光周波数軸に対しても、ガウス関数で十分によく近似できる。以後、光パルス形状を、光の波長あるいは光の周波数に対する関数としてあらわしたものであるときは、それを光パルスのスペクトルと称し、時間  $t$  の関数として表したものであるときは、それを光パルスの時間波形と称するものとする。

【0050】

上述した、光波長フィルタ34の透過特性 $g(f)$ の形状が、光波長フィルタ34からの出力光の時間  $t$  の関数としての時間波形 $G(t)$ をフーリエ変換して得られる関係にあることが好適な条件であることを、図5(A)及び図5(B)を参照して説明する。

【0051】

図5(A)及び図5(B)のいずれの縦軸も光強度をW単位（図5(A)のグラフはpW単位、図5(B)のグラフはnW単位である。）で示し、横軸は時間をps単位で目盛っている。いずれのグラフも計算シミュレーションの結果である。

【0052】

図5(A)は、透過特性を与える関数 $g(f)$ が矩形関数である光波長フィルタを用いて、時間波形 $G(t)$ がガウス関数形状をした光パルスをフィルタリングしたときに得られる光パルスの時間波形である。一方、図5(B)は、光波長フィルタの透過特性を与える関数 $g(f)$ 及び光パルスの時間波形を与える関数 $G(t)$ のいずれもがガウス関数形状をしている場合に、同様にして得られる光パルスの時間波形である。

。

### 【0053】

図5(A)に示された、透過特性を与える関数 $g(f)$ が矩形関数である光波長フィルタを用いて、時間波形 $G(t)$ がガウス関数形状をした光パルス进行フィルタリングしたときに得られる光パルスの時間波形には、ピーク波長の両サイドに下向きの矢印で示すサイドローブが現れている。これらのサイドローブは、光通信等において、隣接する光パルスと干渉を起し、通信に障害を与える可能性がある。

### 【0054】

一方、図5(B)に示された、光波長フィルタの透過特性を与える関数 $g(f)$ 及び光パルスの時間波形を与える関数 $G(t)$ のいずれもがガウス関数形状をしている場合に、図5(A)に示す場合と同様にして得られる光パルスの時間波形には、上述したサイドローブは現れていない。

### 【0055】

したがって、光波長フィルタ34の透過特性 $g(f)$ の形状は、光波長フィルタ34からの出力光の時間  $t$  の関数としての時間波形 $G(t)$ をフーリエ変換して得られる関係にあることが、好適であると結論できる。

### 【0056】

次に、光パルスが時間軸上で列をなして、光伝送路中を伝播しているときに、隣接して存在する光パルスとの干渉が起らないための条件を検討する。隣接して存在する光パルスとの干渉が起らないためには、ビットスロットの最小値( $1/f_0$ ) (秒)で与えられる時間軸上での時間幅の範囲に、光パルス一つが収まっていなければならない。ここで、 $f_0$  (Hz)は、光パルスの時間軸上での出現頻度を与える、周波数(ビットレート)である。

### 【0057】

このことから、出射光パルスの時間波形の半値全幅を $t_h$  (秒)とすれば、

$$t_h < 1/f_0 \quad (4)$$

でなければならない。

### 【0058】

また、光パルスのスペクトルの半値全幅を $f_h$  (Hz)とすれば、光パルスのスペク

トル及び時間波形がフーリエ変換リミットであるガウス関数型であれば、 $t_h$ (秒)と $f_h$ (Hz)との間には、

$$t_h \cdot f_h \doteq 0.44 \quad (5)$$

の関係がある。

#### 【 0 0 5 9 】

また、光パルスのスペクトルの半値全幅 $f_h$ (Hz)は、光波長フィルタの透過帯域幅(透過率曲線の半値全幅) $\Delta f$ (Hz)と一致する。よって、式(4)及び式(5)とから、光波長フィルタの透過帯域幅 $\Delta f$ (Hz)は、上述した関係式

$$\Delta f = f_h > 0.44 f_0 \quad (3)$$

を満たさなければならない。

#### 【 0 0 6 0 】

上述した光パルスのスペクトル及び時間波形がフーリエ変換リミットであるガウス関数型である場合に、光パルスのスペクトル幅と光パルスの時間波形の関係について、詳説する。

#### 【 0 0 6 1 】

光パルスの時間波形が、時間 $t$ (秒)の関数として次式(6)で与えられる、ガウス関数 $U(t)$ で表されるものとする。

#### 【 0 0 6 2 】

$$U(t) = \exp(-t^2/2t_0^2) \quad (6)$$

ここで、 $t_0$ (秒)は、関数 $U(t)$ の半値幅である。関数 $U(t)$ の半値幅とは、光強度 $U(t)$ の最大値の $1/e$ を与える時間を $t_1$ 及び $t_2$ としたとき、 $t_1$ から $t_2$ までの時間幅をいう。また、光強度 $U(t)$ の最大値の $1/2$ を与える時間を $t_1'$ 及び $t_2'$ としたとき、 $t_1'$ から $t_2'$ までの時間幅を半値全幅といい、 $t_h$ (秒)と書く。

#### 【 0 0 6 3 】

ガウス関数型の光パルスの時間波形においては、 $t_0$ (秒)と $t_h$ (秒)の間には次式(7)で与えられる関係がある。

#### 【 0 0 6 4 】

$$t_h = 2(\ln 2)^{1/2} t_0 \quad (7)$$

ここで、 $\ln 2$ は2の自然対数を表す。

## 【0065】

一方、光パルスの時間波形が $U(t)$ をフーリエ変換することにより、ガウス関数型の光パルスのスペクトルの形状を与える関数 $u(\omega)$ は、次式(8)で与えられる。

## 【0066】

$$u(\omega) = (2\pi t_0^2)^{1/2} \exp(-\omega^2 t_0^2 / 2) \quad (8)$$

ここで、 $\omega$  (rad/s) は、光パルスの角周波数であり、周波数 $f$  (Hz) とは、

$$f = \omega / 2\pi \quad (9)$$

の関係がある。

## 【0067】

また、光パルスのスペクトル $u(\omega)$ の半値幅 $\omega_0$  (rad/s) と光パルスの時間波形 $U(t)$ の半値幅 $t_0$  (秒) とは、

$$\omega_0 = 1 / t_0 \quad (10)$$

の関係がある。光パルスのスペクトル $u(\omega)$ の半値幅 $\omega_0$  (rad/s) とは、光パルスのスペクトル $u(\omega)$ の最大値の $1/e$ を与える角周波数を $\omega_1$  及び $\omega_2$  としたとき、 $\omega_1$  から $\omega_2$  までの角周波数の間隔をいう。ただし $\omega_1 < \omega_2$  である。

## 【0068】

また $\omega_0$  (rad/s) と光パルスのスペクトル $u(\omega)$ の最大値の $1/2$ を与える角周波数を $\omega_1'$  及び $\omega_2'$  としたとき、 $\omega_1'$  から $\omega_2'$  までの角周波数の間隔を、光パルスのスペクトル $u(\omega)$ の半値全幅といい、 $\omega_h$  (rad/s) で表すものとする、

$$\omega_h = 2(\ln 2)^{1/2} \omega_0 \quad (11)$$

の関係がある。ただし、 $\omega_1' < \omega_2'$  である。

## 【0069】

以上において説明した、式(7)、式(9)、式(10)及び式(11)から、光パルスのスペクトルの半値全幅 $f_h$  (Hz) と、光パルスのスペクトル $u(\omega)$ の半値全幅 $\omega_h$  (rad/s) との関係が

$$f_h = \omega_h / 2\pi$$

であるから、

光強度 $U(t)$ の半値全幅 $t_h$  (秒) と、光パルスのスペクトルの半値全幅 $f_h$  (Hz) との関

係は、次式 (12) で与えられる。

【0 0 7 0】

$$t_h \cdot f_h = t_h \cdot (\omega_h / 2\pi) = 2(\ln 2) / \pi \doteq 0.44 \quad (12)$$

以上において説明したことから、上述した関係式

$$t_h \cdot f_h \doteq 0.44 \quad (5)$$

が得られ、この関係式(5)から、上述したように、光波長フィルタの透過帯域幅  $\Delta f$ (Hz)は、次式

$$\Delta f = f_h \doteq 0.44 / t_h > 0.44 f_0 \quad (3)$$

で与えられることになる。

【0 0 7 1】

<第2の実施の形態>

図6を参照して、この発明の波長変換装置の第2の実施の形態について説明する。第2の実施の形態の波長変換装置50の特徴は、図1を参照して既に説明した、この発明の波長変換装置の基本構成に、光増幅器が新たな構成要素として加わっている点である。第2の実施の形態の波長変換装置50は、光増幅器52、SC光発生部54及び光波長フィルタ56を具えて構成される。入射光パルス列60及び出射光パルス列62を図6の左側及び右側にそれぞれ説明的に描いて示す。入射光パルス列60も出射光パルス列62も時間軸上では同一の形状であるが、波長は $\lambda_s$ から $\lambda_l$ に変換されている。

【0 0 7 2】

図6の左側に説明的に描いた光パルス列60は、波長が $\lambda_s$ である励起光パルス列であり、この発明の波長変換装置50に入射される被変換光パルス列である。

【0 0 7 3】

以後、波長変換される入射光パルス列を励起光パルス列、波長変換された出射光パルス列を変換光パルス列ということもある。また、光パルス列を構成する光パルス一つ一つに対して、波長変換される入射光パルスを励起光パルス、波長変換された出射光パルスを変換光パルスということもある。

【0 0 7 4】

この発明の第2の実施の形態である波長変換装置50の構成及びその各部の機能

を説明する。波長変換装置50は、被変換光パルスを入射する前に、光増幅器52によって、SC光発生に必要な十分な光強度の水準にまで、被変換光パルスのピークパワーを増幅できる構成とされている点に特徴がある。

#### 【0075】

すなわち、この発明の第2の実施の形態である波長変換装置50は、励起光パルスのSC光発生部の入射光路に、励起光パルスのピークパワーを、SC光を発生させるために要する光強度の水準にまで、増幅する光増幅器を具える。

#### 【0076】

波長変換装置50の光増幅器52以外の構成は、図1に示す波長変換装置10と同じである。すなわち、入射光パルス列60が入力端子58から波長変換装置50に入射し、光増幅器52によって、SC光発生に必要な最低限の光強度以上の水準にまで、入射光パルス列51のピークパワーを増幅される。光増幅器52によって増幅された入射光パルス列51は、光パルス列53となり、SC光発生部54において、SC光55に変換される。SC光55は光波長フィルタ56でフィルタリングされ、波長が変換された光パルス列57となり、出力端子64を介して外部に波長が変換された光パルス列62として出力される構成となっている。

#### 【0077】

励起光パルスによってSC光を発生させるために必要とされる励起光パルスのピークパワーは、入射光パルス幅やSC光発生部の構成部材の物理特性によって異なる。一例として、表1に記載の諸特性を有する分散減少光ファイバをSC光発生部の構成部材をしてSC光を発生させた場合に必要とされる、入射光パルスのピークパワーと入射光パルス幅との関係をシミュレーションした。その結果を図7に示す。分散減少光ファイバの長さは1000メートルと仮定して、上述した非線形シュレディンガー方程式を、スプリットステップフーリエ法によって解く計算方法に則って作られているシミュレータ (Optiwave 社製 OptiSystem 2.1) を用いて行なった。

#### 【0078】

図7は、上述のシミュレーションによって得られた、SC光発生に要する励起光パルスの最小ピークパワーと励起光パルスの半値幅の関係を示す図である。縦軸

は、励起光パルスのピークパワーをW単位で目盛っており、及び横軸は、励起光パルスの半値幅をps単位で目盛っている。図7において、黒点で示す値がシミュレーション結果を与えており、これらの値を滑らかに実線で結んで、SC光発生に要する励起光パルスの最小ピークパワーの値を示している。したがって、励起光パルスのピークパワーが、この実線で示された値以上の値であれば、SC光が発生する。例えば、励起光パルスの半値幅が2 psであれば、励起光パルスのピークパワーが1.5 W以上あれば、SC光が発生することがわかる。

#### 【0079】

光増幅器52を具える波長変換装置50によれば、波長変換装置50に入射する入射光パルスのピークパワーが、SC光発生に要する値以下であっても、所望の波長変換が行なえる。すなわち、光増幅器52によって入射光パルスを増幅すれば、入射光パルスのピークパワーが、上記で説明したSC光発生に要する励起光パルスの最小ピークパワー以上となるように、光増幅器52の増幅率を設定すれば、所望の波長変換が行なえる。

#### 【0080】

##### <第3の実施の形態>

図8を参照して、この発明の波長変換装置の第3の実施の形態について説明する。第3の実施の形態の波長変換装置70の特徴は、図1の基本構成中の光波長フィルタ14に相当する光波長フィルタ74が、透過光の中心波長が可変である、透過波長可変フィルタで構成されている点である。波長変換装置70は、SC光発生部72及び透過波長可変フィルタ74を具えて構成される。入射光パルス列82及び出射光パルス列84を図8の左側及び右側にそれぞれ説明的に描いて示す。入射光パルス列82も出射光パルス列84も時間軸上では同一の形状であるが、波長は $\lambda_s$ から $\lambda_l$ に変換されている。

#### 【0081】

この発明の第3の実施の形態である波長変換装置70の構成及びその各部の機能を説明する。光波長フィルタ74が、透過光の中心波長が可変である透過波長可変フィルタで構成されている点以外は、図1に示すこの発明の波長変換装置の基本構成である波長変換装置10と同じである。すなわち、入射光パルス列82が入力端

子78から波長変換装置70に入射し、SC光発生部72において、SC光73に変換される。SC光73は透過波長可変フィルタ74でフィルタリングされ、波長が変換された光パルス列75となり、出力端子80を介して外部に波長が変換された光パルス列84として出力される構成となっている。

#### 【0082】

透過波長可変フィルタ74を具える波長変換装置70によれば、任意の波長に入射光パルスの波長変換が行なえる。

#### 【0083】

透過波長可変フィルタ74の透過波長帯の中心波長 $\lambda_1$ を、光波長フィルタ制御信号入力端子76から供給される制御信号77によって、SC光のスペクトル帯域である波長 $\lambda_L$ から波長 $\lambda_H$ （ただし、 $\lambda_L < \lambda_H$ ）の範囲内で任意に変えて、出射光パルスの波長を選択できる。すなわち、透過波長可変フィルタ74の透過波長帯の中心波長 $\lambda_1$ を、 $\lambda_L < \lambda_1 < \lambda_H$ となるように選択すれば、入力光パルスの波長 $\lambda_s$ が波長 $\lambda_1$ の出力光パルスとして得られる。ただし、波長 $\lambda_L$ 、波長 $\lambda_H$ 、波長 $\lambda_s$ 及び波長 $\lambda_1$ の間に以下の条件（1）及び（2）

$$\lambda_L < \lambda_s < \lambda_H \quad (1)$$

$$\lambda_L < \lambda_1 < \lambda_H \quad (2)$$

が満足されていることが条件である。

#### 【0084】

透過波長可変フィルタとしては、ピエゾ素子で共振器の長さを調整できるタイプの、ファブリー・ペロ型光波長フィルタとすることができる。この場合には、光波長フィルタ制御信号入力端子76から供給される制御信号77は、電圧信号である。もちろん機械的に共振器を調整し、透過光の中心波長を変化させるタイプのファブリー・ペロ型光波長フィルタを、透過波長可変フィルタとして利用することもできる。上述した透過波長可変フィルタとして利用可能な光波長フィルタとしては、例えば、株式会社オプトクエスト製WTFAシリーズが市販されているので、これを用いることができる。

#### 【0085】

<第4の実施の形態>

図9を参照して、この発明の波長変換装置の第4の実施の形態について説明する。第4の実施の形態の波長変換装置100の特徴は、図1の基本構成中の光波長フィルタ14に代わり、光サーキュレータと光波長フィルタとを交互に直列して配列されて構成され、かつ光波長フィルタが光ファイバグレーティングを利用して構成されている点である。

#### 【0086】

SC光発生部120を出射した波長 $\lambda_s$ の入射光パルスが波長変換されたSC光は、第1光サーキュレータ122を通過して第1光ファイバグレーティング124に入射する。第1光ファイバグレーティング124は、波長 $\lambda_1$ の光パルスのみを反射し、そのほかの波長の光パルスを透過させる光波長フィルタとしての機能を有している。したがって、波長 $\lambda_1$ の光パルスのみが、第1光ファイバグレーティング124によって反射されて、再び第1光サーキュレータ122に入射して、波長 $\lambda_1$ の光パルス123として第1出力端子144に達して、波長 $\lambda_1$ の光パルス112として外部に出力される。すなわち、波長 $\lambda_s$ の入射光パルスが第1出力端子144から波長 $\lambda_1$ の光パルス112として波長変換されて出力され、第1の波長変換が行なわれる。

#### 【0087】

また、SC光発生部120を出射した、波長 $\lambda_s$ の入射光パルスが波長変換されたSC光は、第1光サーキュレータ122及び第1光ファイバグレーティング124を通過して更に第2の光サーキュレータ126を通過して、第2の光ファイバグレーティング128に入射する。第2光ファイバグレーティング128は、波長 $\lambda_2$ の光パルスのみを反射し、そのほかの波長の光パルスを透過させる光波長フィルタとしての機能を有している。

#### 【0088】

したがって、波長 $\lambda_2$ の光パルスのみが、第2光ファイバグレーティング128によって反射されて、再び第2光サーキュレータ126に入射して、波長 $\lambda_2$ の光パルス127として第2出力端子146に達して、波長 $\lambda_2$ の光パルス114として外部に出力される。すなわち、波長 $\lambda_s$ の入射光パルスが第2出力端子146から波長 $\lambda_2$ の光パルス114として波長変換されて出力され、第2の波長変換が行なわれる。

#### 【0089】

第2の光ファイバグレーティング128の後段に、同様に、光サーキュレータと光ファイバグレーティングを上述のように組み合わせて、直列して配列し続けることで、SC光発生部120を出射した、波長 $\lambda_s$ の入射光パルスが、波長 $\lambda_3$ 、波長 $\lambda_4$ 、…波長 $\lambda_n$  ( $n$ は2以上の整数である。)と、それぞれ波長の異なる $n$ 種類の光パルスに波長変換することができる。

### 【0090】

最終段である第 $n$ 光サーキュレータ130と第 $n$ 光ファイバグレーティング132の組からは、波長 $\lambda_s$ の入射光パルスが第 $n$ 出力端子148から波長 $\lambda_n$ の光パルス116として波長変換して出力され、第 $n$ の波長変換が行なわれる。すなわち、波長 $\lambda_s$ の入射光パルスが第 $n$ 出力端子148から波長 $\lambda_n$ の光パルス116として波長変換されて出力され、第 $n$ の波長変換が行なわれる。

### 【0091】

第 $n$ 光ファイバグレーティング132の後段には、光ターミネータ140が接続されており、この光ターミネータ140に達してきた光パルス（波長が上記 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 、…及び $\lambda_n$ 以外の光パルスである。）が、再びSC光発生部120に戻らないように対策されている。

### 【0092】

もちろん、入射光パルスの波長 $\lambda_s$ 、波長変換されて得られた出射光パルスの波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 、…及び $\lambda_n$ は、SC光のスペクトル帯域である波長 $\lambda_L$ から波長 $\lambda_H$ （ただし、 $\lambda_L < \lambda_H$ ）の範囲内になければならず、かつ互いに相異なった波長であることは、言うまでもない。すなわち、

$$\lambda_L < \lambda_s < \lambda_H \quad (1)$$

$$\lambda_L < \lambda_1 < \lambda_H \quad (2-1)$$

$$\lambda_L < \lambda_2 < \lambda_H \quad (2-2)$$

.

.

.

$$\lambda_L < \lambda_n < \lambda_H \quad (2-n)$$

であり、かつ $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 、…及び $\lambda_n$ は相異なる。

## 【0093】

入射光パルス列110と、出射光パルス列112、114及び116を図9の左側及び右側にそれぞれ説明的に描いて示す。入射光パルス列110も出射光パルス列112、114及び116も時間軸上では同一の形状であるが、波長は $\lambda_s$ から $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 、…及び $\lambda_n$ にそれぞれ変換されている。

## 【0094】

もちろん、図1の基本構成中の光波長フィルタ14に代わり、光サーキュレータと光波長フィルタとを交互に直列して配列されて構成される部分が、第1光サーキュレータ122及び第1光ファイバグレーティング124から構成されていて、第2光サーキュレータ後段に設けられる、第2の波長変換及び第3の波長変換等第nの波長変換を行なう部分を省いて構成してもよい。この場合は、波長変換装置から波長変換して得られる光パルスは、その中心波長が $\lambda_1$ である光パルスのみであることになる。

## 【0095】

## &lt;第5の実施の形態&gt;

図10を参照して、この発明の波長変換装置の第5の実施の形態について説明する。第5の実施の形態の波長変換装置150の特徴は、図1の基本構成の光波長フィルタに相当する光波長フィルタがアレー導波路格子(AWG: Arrayed Waveguide Grating)162を利用して構成されている点である。

## 【0096】

AWG 162は、波長選択性を有する複数の光導波路を集積させることによって構成された、それぞれ異なる中心波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 、…及び $\lambda_n$ を有する光パルスを分離して、かつそれぞれ異なる出力端子に出力する機能を有する素子である。

## 【0097】

入射光パルス列152は、入力端子154から波長変換装置150に入射して、SC光発生部160に入射して、SC光161となり、AWG 162に入射する。AWG 162では、それぞれ異なる中心波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 、…及び $\lambda_n$  ( $n$ は2以上の整数である。)を有する光パルスを分離して、それぞれ、中心波長 $\lambda_1$ の光パルス、中心波長 $\lambda_2$ の光パルス、…及び中心波長 $\lambda_n$ に分離抽出して、それぞれの出力端子164、166及び168

を介して、 $n$ 種類の光パルス171、173及び175として外部に出力される。

#### 【0098】

上述した構成とした波長変換装置150によれば、上述した第4の実施の形態である波長変換装置100と同様に、波長が $\lambda_s$ である入射光パルスが波長変換されて、波長がそれぞれ異なる中心波長 $\lambda_1$ の光パルス、中心波長 $\lambda_2$ の光パルス、…及び中心波長 $\lambda_n$ の光パルスが得られる。

#### 【0099】

もちろん、上述した第4の実施の形態である波長変換装置において同様に、入射光パルスの波長 $\lambda_s$ 、波長変換されて得られた出射光パルスの波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 、…及び $\lambda_n$ は、SC光のスペクトル帯域である波長 $\lambda_L$ から波長 $\lambda_H$ （ただし、 $\lambda_L < \lambda_H$ ）の範囲内になければならず、かつ互いに相異なった波長であることは、言うまでもない。すなわち、

$$\lambda_L < \lambda_s < \lambda_H \quad (1)$$

$$\lambda_L < \lambda_1 < \lambda_H \quad (2-1)$$

$$\lambda_L < \lambda_2 < \lambda_H \quad (2-2)$$

.

.

.

$$\lambda_L < \lambda_n < \lambda_H \quad (2-n)$$

であり、かつ $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 、…及び $\lambda_n$ は相異なる。

#### 【0100】

入射光パルス列152と、出射光パルス列171、173及び175を図10の左側及び右側にそれぞれ説明的に描いて示す。入射光パルス列152も出射光パルス列171、173及び175も時間軸上では同一の形状であるが、波長は $\lambda_s$ から $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 、…及び $\lambda_n$ にそれぞれ変換されている。

#### 【0101】

#### 【発明の効果】

以上説明したように、この発明の波長変換装置によれば、中心波長 $\lambda_s$ の励起光パルス、すなわち入射光パルスは、波長 $\lambda_L$ から波長 $\lambda_H$ （ただし、 $\lambda_L < \lambda_H$ ）

の範囲の波長のスペクトル帯域を有するSC光である光パルスに波長変換される。このSC光に対して、透過中心波長 $\lambda_i$ が、 $\lambda_L < \lambda_i < \lambda_H$  ( $i$ は自然数) 満たす範囲にある光波長フィルタを用いれば、波長 $\lambda_L$ から波長 $\lambda_H$ の波長の範囲にわたって存在するSC光から、光波長 $\lambda_L$ から波長 $\lambda_H$ の波長の広い範囲内にその中心波長を有する光パルスを選択して抽出できる。このことから、この発明の波長変換装置によれば、中心波長が $\lambda_s$ である入射光パルスを、中心波長が $\lambda_i$  ( $i$ は自然数である。) である光パルスに変換することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

この発明の波長変換装置の基本構成図である。

【図 2】

光パルス及びSC光のスペクトル構造の説明に供する図である。

【図 3】

この発明の第1の実施の形態である波長変換装置の構成図である。

【図 4】

SC光による波長変換のシミュレーション結果を表す図である。

【図 5】

(A) は、透過特性を与える関数 $g(f)$ が矩形関数である光波長フィルタを用いて、フィルタリングしたときに得られる光パルスの時間波形であり、(B) は、透過特性を与える関数 $g(f)$ がガウス関数である光波長フィルタを用いて、フィルタリングしたときに得られる光パルスの時間波形である。

【図 6】

この発明の第2の実施の形態である波長変換装置の構成図である。

【図 7】

SC光発生に要する入射光パルスの最小ピークパワーと入射光パルスの半値幅の関係を示す図である。

【図 8】

この発明の第3の実施の形態である波長変換装置の構成図である。

【図 9】

この発明の第4の実施の形態である波長変換装置の構成図である。

【図 1 0】

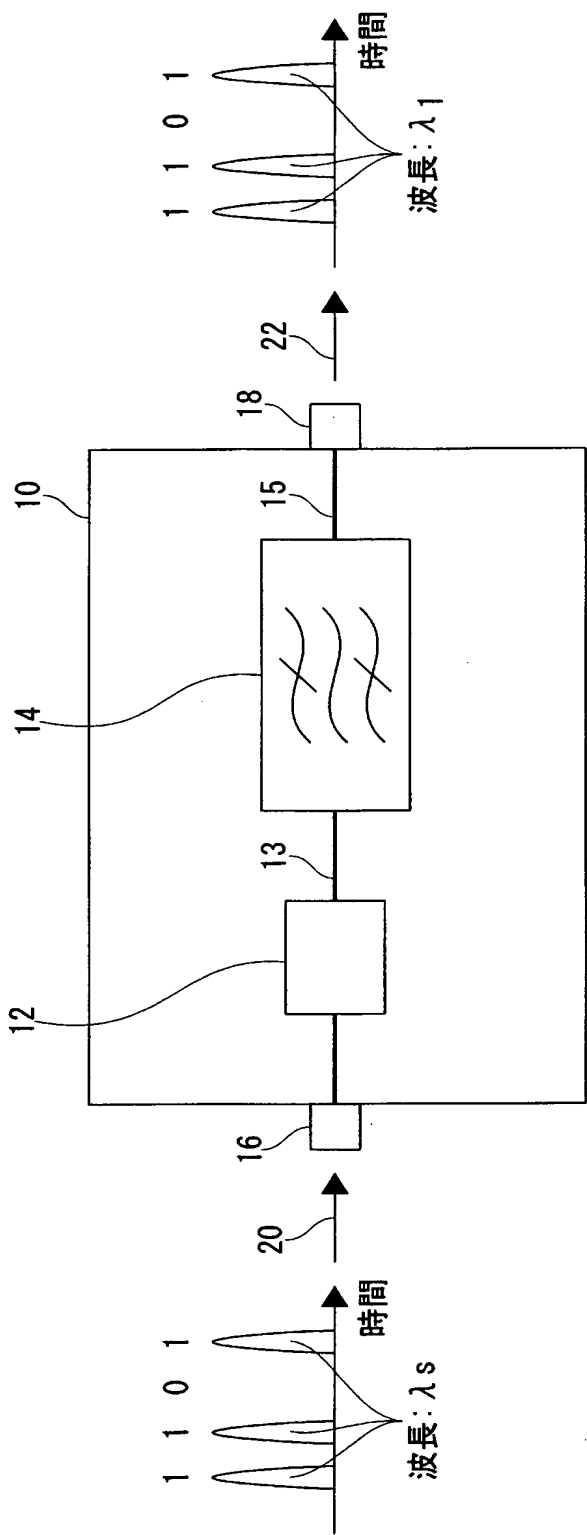
この発明の第5の実施の形態である波長変換装置の構成図である。

【符号の説明】

- 10、30、50、70、100、150：波長変換装置
- 12、54、72、120、160：SC光発生部
- 14、34、56、74：光波長フィルタ
- 16、36、58、78、142、154：入力端子
- 18、38、64、80、164、166、168：出力端子
- 32：分散減少ファイバ
- 52：光増幅器
- 76：光波長フィルタ制御信号入力端子
- 122：第1光サーキュレータ
- 124：第1光ファイバグレーティング
- 126：第2の光サーキュレータ
- 128：第2の光ファイバグレーティング
- 130：第n光サーキュレータ
- 132：第n光ファイバグレーティング
- 140：光ターミネータ
- 144：第1出力端子
- 146：第2出力端子
- 148：第n出力端子
- 162：アレー導波路格子(AWG: Arrayed Waveguide Grating)

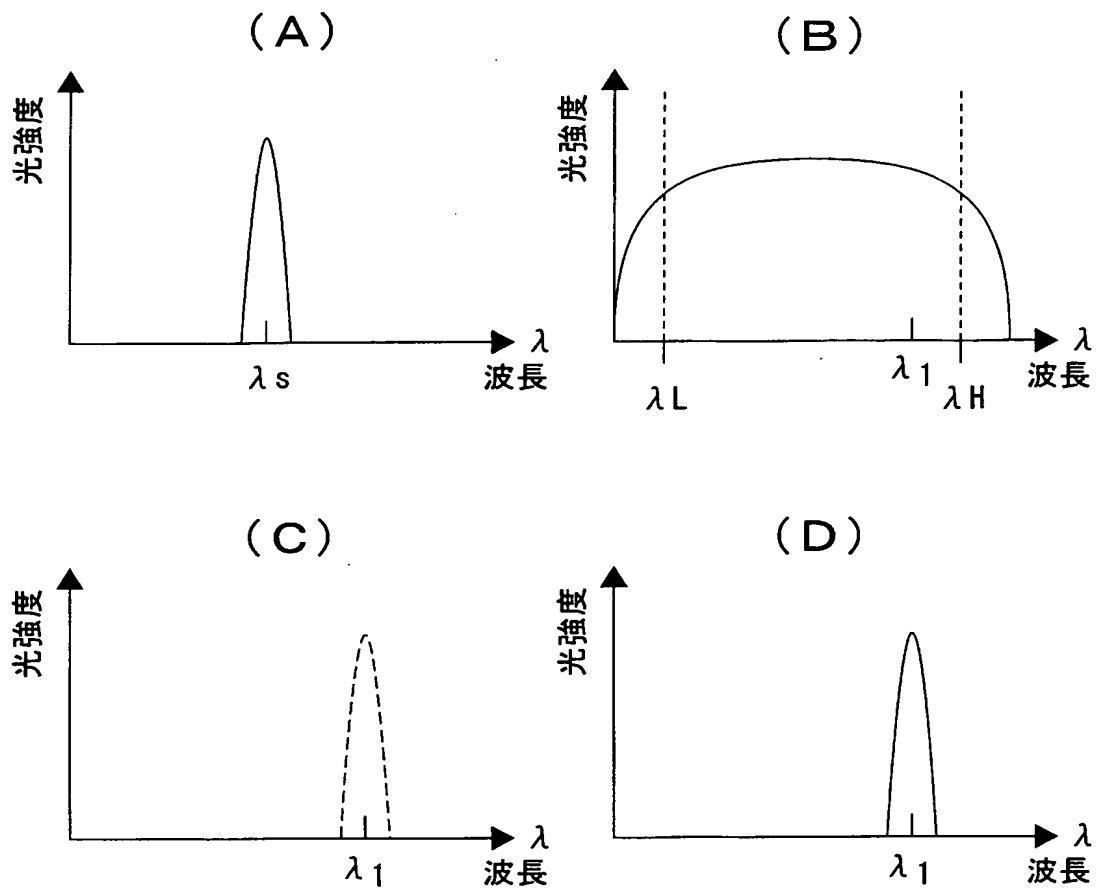
【書類名】 図面

【図 1】



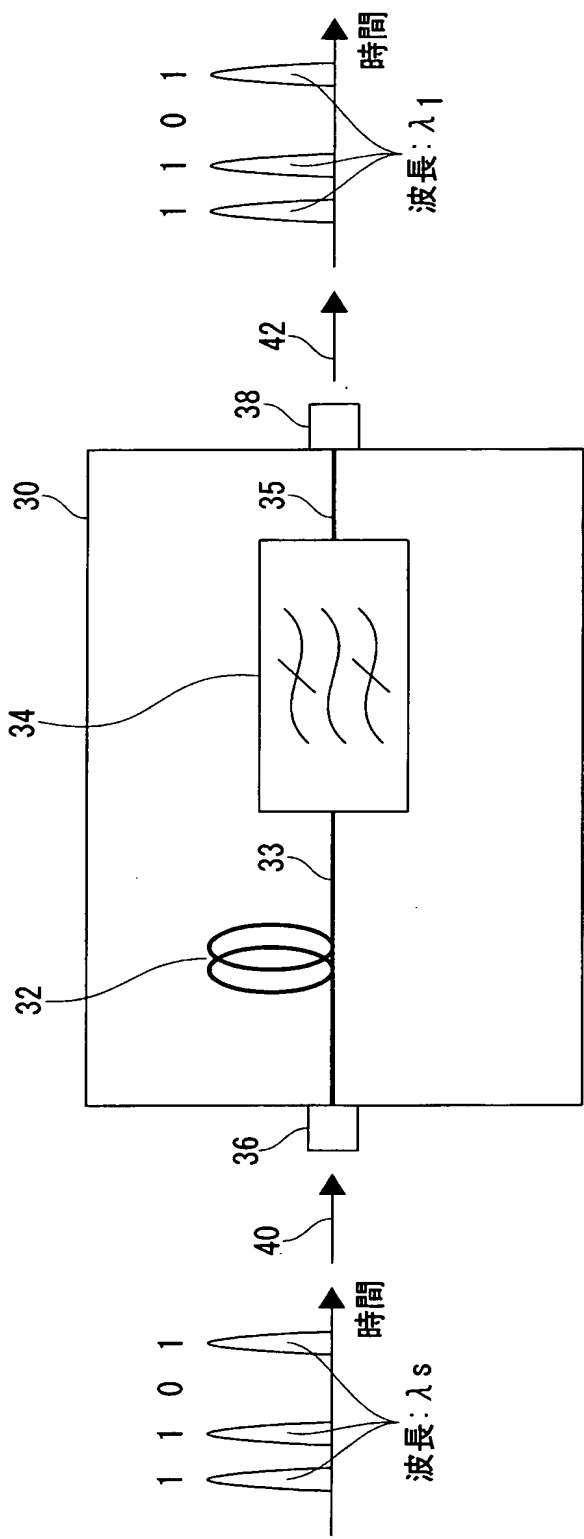
この発明の波長変換装置の基本構成図

【図 2】



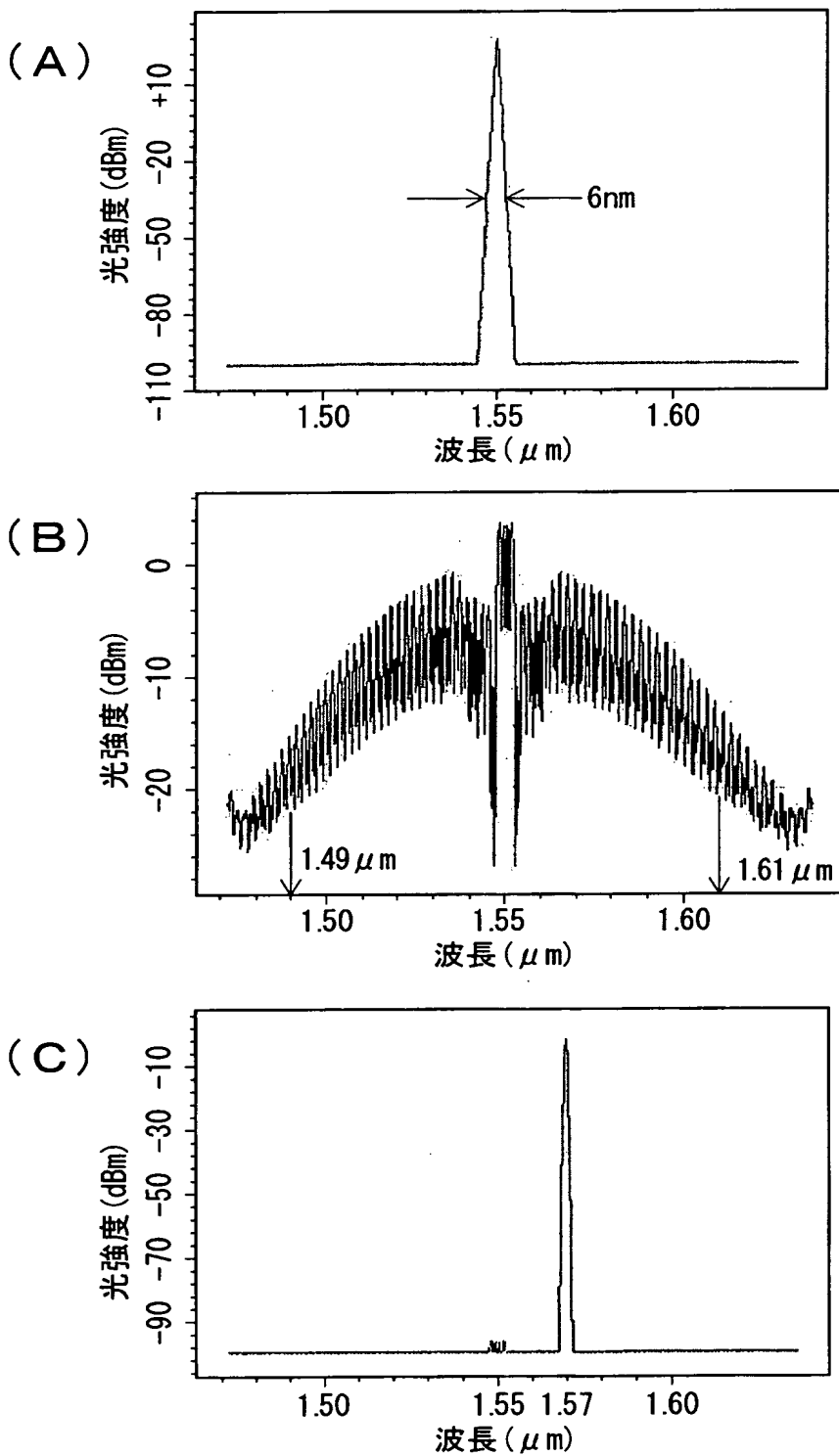
光パルス及びSC光のスペクトル構造の説明に供する図

【図 3】



この発明の第 1 の実施形態である波長変換装置の構成図

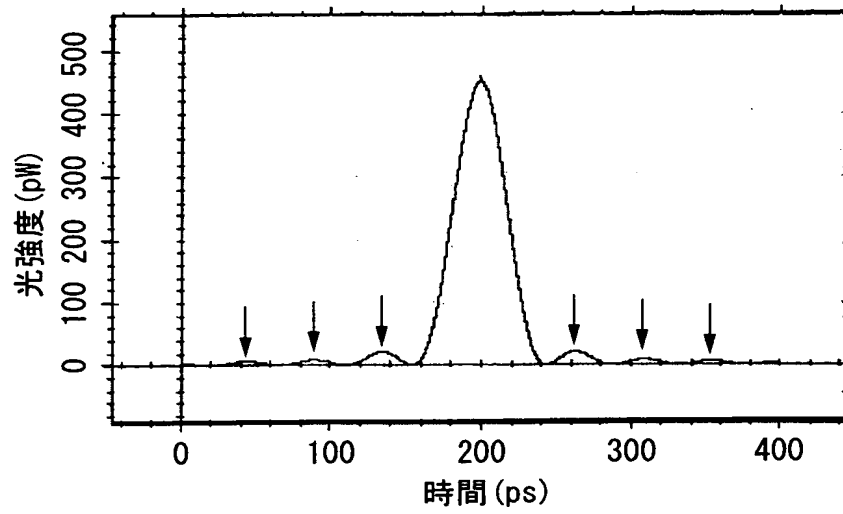
【図 4】



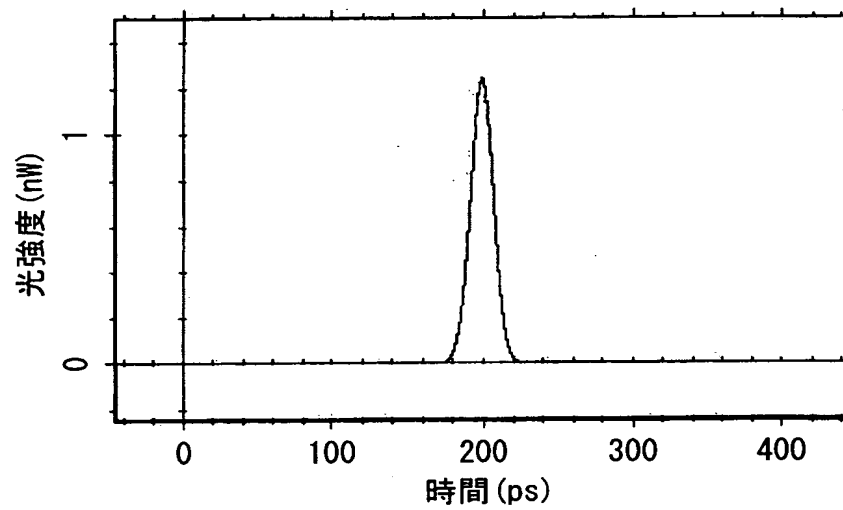
SC光による波長変換の計算シミュレーション結果を表す図

【図 5】

(A)

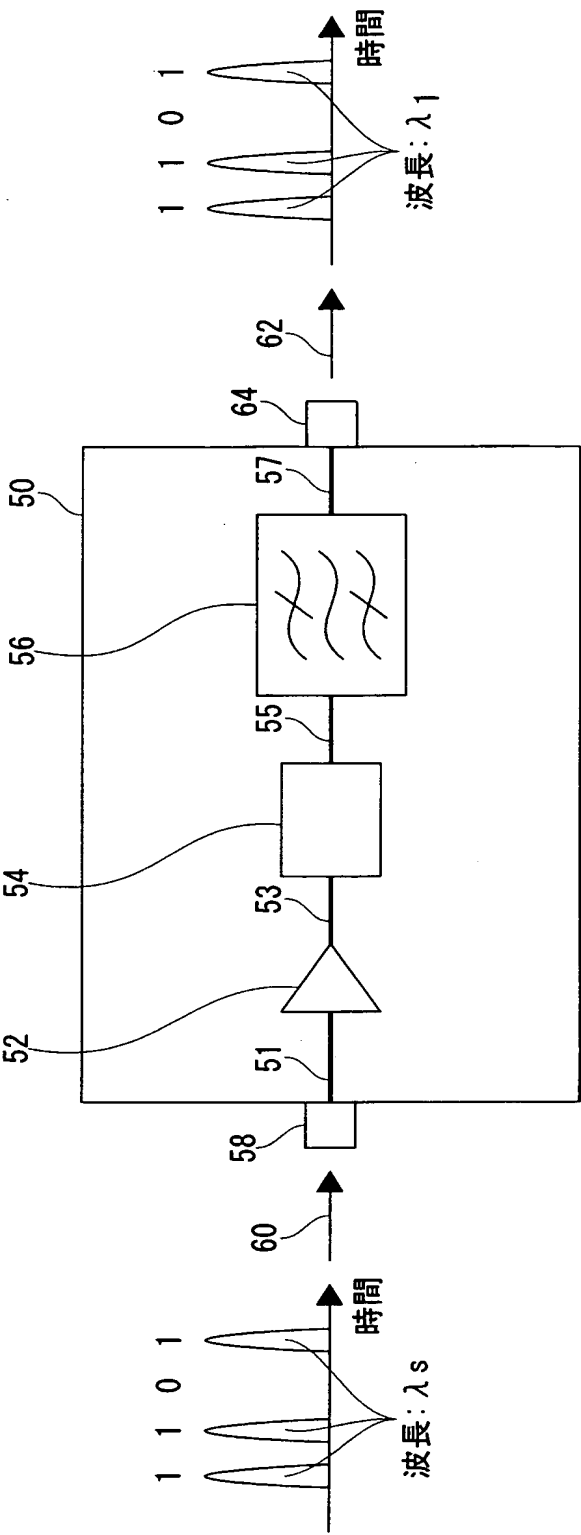


(B)



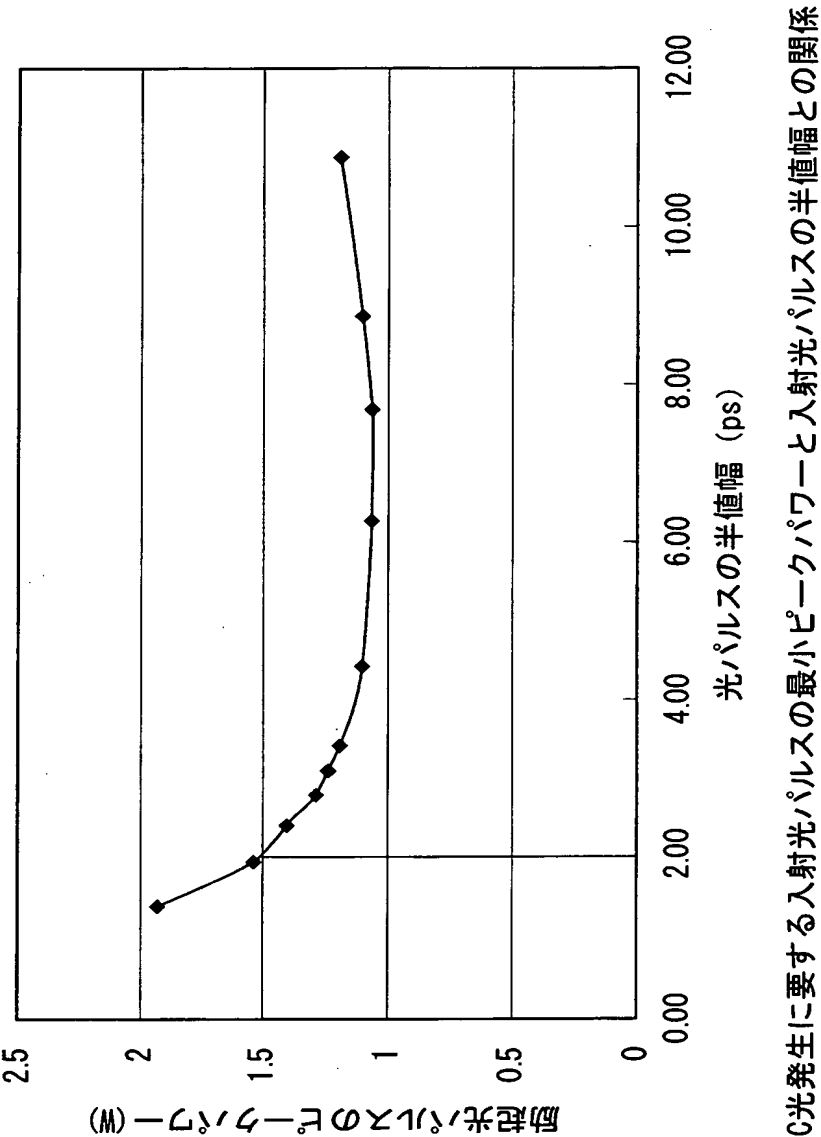
光パルスの時間波形

【図 6】



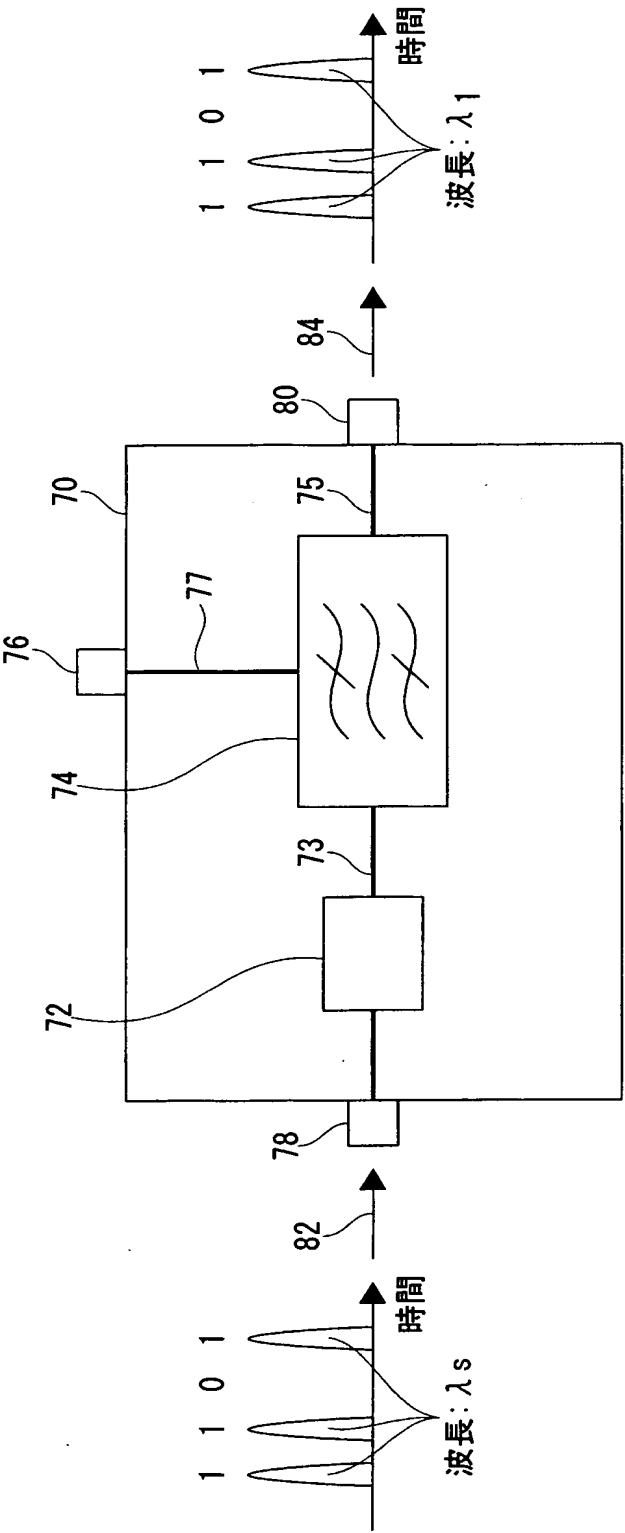
この発明の第 2 の実施の形態である波長変換装置の構成図

【図 7】



SC光発生に要する入射光パルスの最小ピークパワーと入射光パルスの半値幅との関係

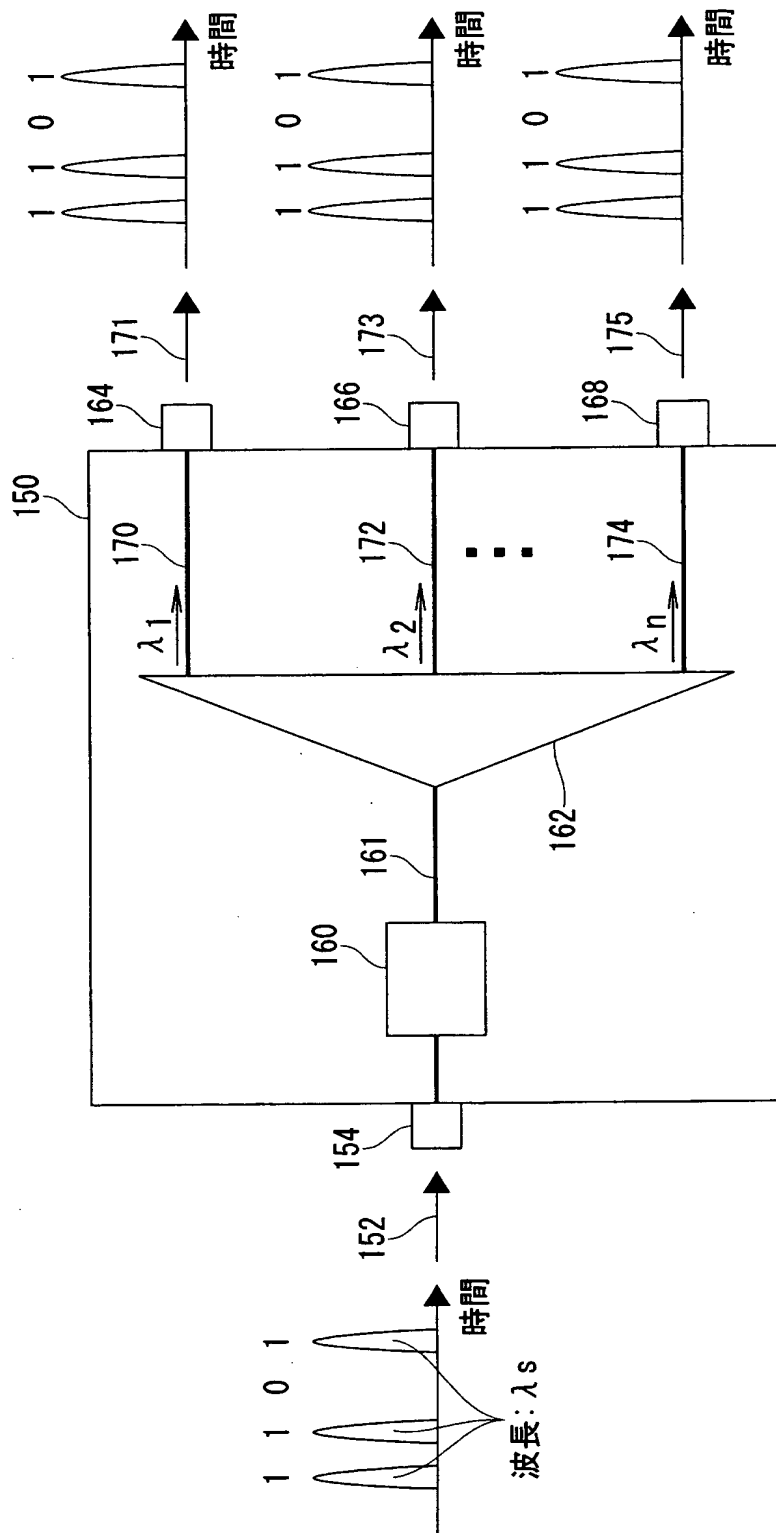
【図 8】



この発明の第 3 の実施の形態である波長変換装置の構成図



【図 10】



この発明の第 5 の実施の形態である波長変換装置の構成図

【書類名】 要約書

【要約】

【目的】 変換されて得られる光の波長の選択範囲を広くすること。

【解決手段】 励起光パルス光源から出力される励起光パルスを入射させてSC光を発生させるSC光発生部12と、SC光をフィルタリングする光波長フィルタ14とを具える。励起光パルス光源は、中心波長 $\lambda_s$ の該励起光パルスを生成する。SC媒質は、励起光パルス光源から生成される該励起光パルスが入射すると、波長 $\lambda_L$ から波長 $\lambda_H$ （ただし、 $\lambda_L < \lambda_H$ ）の範囲で平坦なスペクトル形状を有するSC光を発生させる。光波長フィルタは、フィルタリングする透過中心波長が $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ （ $n$ は自然数）である特性を有している。かつ、波長 $\lambda_L$ 、波長 $\lambda_H$ 、波長 $\lambda_s$ 及び波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ （ $n$ は自然数）の間に以下の条件（1）及び（2-1）、（2-2）、…、（2- $n$ ）が満足されていることを特徴とする波長変換装置。

$$\lambda_L < \lambda_s < \lambda_H \quad (1)$$

$$\lambda_L < \lambda_1 < \lambda_H \quad (2-1)$$

.

.

.

$$\lambda_L < \lambda_n < \lambda_H \quad (2-n)$$

【選択図】 図1

## 認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 3 - 0 4 9 9 9 9
受付番号	5 0 3 0 0 3 1 3 0 4 4
書類名	特許願
担当官	第二担当上席 0 0 9 1
作成日	平成 1 5 年 3 月 1 4 日

## &lt; 認定情報・付加情報 &gt;

【提出日】	平成15年 2月26日
-------	-------------

次頁無

特願 2 0 0 3 - 0 4 9 9 9 9

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 0 2 9 5 ]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 2 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号

氏 名

沖電気工業株式会社